

Analisis Pengaruh Surja Hubung Terhadap Tegangan Lebih Transien Dengan Menggunakan *Electromagnetic Transients Program*

Yusreni Warmi

Program Studi Teknik Elektro & Informatika Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Padang

mn_nafi@yahoo.com

Abstrak—Pelepasan beban akan menimbulkan tegangan lebih transien kelistrikan, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada sistem tenaga listrik. Untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang ditimbulkan oleh terlepasnya beban di SUTT Sumbagsel dan Sumbagteng, diperlukan suatu cara yang tepat dalam memprediksi tegangan yang mungkin terjadi. Penelitian ini mempelajari masalah tegangan lebih transien yang terjadi akibat pelepasan beban pada SUTT Sumbagsel dan Sumbagteng. Simulasi dilakukan dengan menggunakan EMTP (*Electromagnetic Transients Program*) sebagai perangkat lunak. Hasil simulasi menunjukkan tegangan lebih transien pada saat pelepasan beban masih berada pada batas-batas aman. Tegangan lebih transien di setiap titik pengukuran membesar dan merupakan fungsi jarak terhadap beban.

Kata Kunci: Surja Hubung, Tegangan Lebih Transien, *Electromagnetic Transients Program*.

Abstract—The rejection load causes the phenomena of transients over voltage, and this could cause damaged to the electrical power system. In order to know how much the voltage arose by the load rejection in SUTT 150kV, an appropriate way to predict possible voltage is needed. The research studies the problem of transients over voltage that occur as a result of rejection load in SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang. Simulation is carried out using EMTP (*Electromagnetic Transient Program*) software. The result of simulation shows, transient over voltage at the time of the rejection load still exist with in a safe condition. Transients over voltage in every measurement point become larger which shows the function of distance towards load.

Keywords: *Swicthing Surge, Transients Overvoltage, Electromagnetic Transients Program.*

A. Pendahuluan

Saluran Transmisi memegang peranan penting dalam proses penyaluran daya dari pusat-pusat pembangkit hingga ke pusat-pusat beban. Agar dapat melayani kebutuhan tersebut maka diperlukan sistem transmisi tenaga listrik yang handal dengan tingkat keamanan yang memadai. Pada sistem interkoneksi Sumbagsel (Sumatera Bagian Selatan) & Sumbagteng (Sumatera Bagian Tengah) dipergunakan sistem transmisi SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) 150kV. Yang mana semakin tinggi tegangan yang digunakan maka akan semakin tinggi pula tegangan lebih yang disebabkan oleh sistem, khususnya surja hubung (*switching surge*).

Pelepasan beban dari suatu Sistem Tenaga Listrik merupakan salah satu operasi pensaklaran yang dapat menimbulkan tegangan lebih, operasi pensaklaran ini dilakukan oleh PMT, baik pada saat kondisi normal ataupun kondisi gangguan. Pada operasi pensaklaran (pembukaan atau penutupan) akan menghasilkan gejala surja hubung atau transien energi listrik, yang berupa tegangan lebih transien (*transients over voltage*) yang dapat berupa gelombang impuls yang mempunyai muka gelombang dan ekor gelombang. Tegangan lebih surja hubung yang dihasilkan oleh operasi PMT dan memiliki muka gelombang yang tajam akan mengakibatkan kegagalan isolasi peralatan

Naskah ini diterima pada tanggal 15 Juni 2009, direvisi pada tanggal 20 Juli 2009 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Agustus 2009

listrik yang terhubung dengan PMT, yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan tersebut (Naidu, V. Karamaju 1995). Dalam sistem transmisi tenaga listrik peristiwa surja hubung, khususnya pelepasan beban seringkali menyebabkan kenaikan tegangan pada terminal sistem. Kenaikan tegangan yang terjadi harus diperhatikan jangan sampai menyebabkan gangguan pada sistem, karena bila beban lepas berada diluar kapasitas pelepasan maksimum sesuai perencanaan, maka tegangan lebih yang terjadi tidak dapat dikendalikan. Untuk menghindari hal tersebut dalam penelitian ini dibahas pengaruh pelepasan beban terhadap tegangan lebih transien. Salah satu cara yang dipakai adalah dengan mengetahui level kenaikan tegangan transien yang disebabkan oleh penambahan beban saat pelepasan beban ini, maka dapat ditentukan pembebanan maksimum yang masih diperbolehkan pada suatu sistem. Penentuan beban optimal juga harus diperhatikan agar pada keadaan normal atau tidak ada gangguan level tegangan tersebut masih berada pada batas tegangan yang masih diperbolehkan yaitu tidak boleh lebih dari 105% dari tegangan nominal serta tidak kurang 90% dari tegangan nominal (Sesuai dengan standard PT. PLN).

Pada studi kasus diambil SUTT Payakumbuh – Koto panjang, SUTT ini memiliki panjang transmisi sejauh 85,100 km (panjang sirkit 170,100 km) dengan tipe penghantar ACSR/GSW 330/40 mm². Pertimbangan dijadikannya penghantar ini sebagai studi kasus adalah penghantar ini merupakan penghantar vital yang menghubungkan Propinsi Sumbar dengan Riau. Hampir bisa dipastikan jika kedua penghantar ini terganggu maka sistem Riau akan mengalami pemadaman partial hingga kolaps.

Tegangan lebih surja hubung

Gangguan tegangan lebih pada transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh dua macam tegangan surja yaitu surja petir dan surja hubung yang mempunyai amplitudo lebih besar dari nilai puncak tegangan nominalnya. Salah satu sumber tegangan lebih surja hubung adalah peristiwa pembukaan dan penutupan pemutus tenaga. Besarnya amplitudo tegangan saat pelepasan beban selalu berkorelasi dengan tegangan sistem dan frekuensi osilasi yang dipengaruhi oleh impedansi sistem.

Surja Hubung adalah gejala transien yang disebabkan oleh pemasukan energi(*energization*), pemutusan energi(*de-energization*) dan pemutusan disertai pemasukan kembali energi(*re-energization*) dari suatu rangkaian listrik. Proses pensaklaran dilakukan oleh saklar atau circuit breaker berupa operasi penutupan (*closing*), pembukaan (*opening*) dan penutupan kembali (*reclosing*). Operasi-operasi tersebut dikenal dengan istilah operasi switching. Bentuk umum tegangan impuls adalah tegangan yang naik dalam waktu yang singkat sekali, disusuli dengan penurunan yang lambat menuju nol, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan:

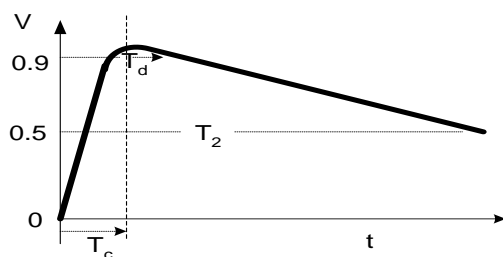
$$V = V_o(e^{-at} - e^{-bt}) \quad (1)$$

Dengan V adalah tegangan osilasi, V_o adalah tegangan sistem, at dan bt adalah konstanta yang diperoleh dari rangkaian. Definisi muka gelombang (*wave front*) dan ekor gelombang (*wave tail*) ditetapkan dalam standart yang sedemikian rupa sehingga kesukaran dalam menetapkan permulaan gelombang dan puncak gelombang dapat diatasi.

Menurut standart Jepang titik nol nominal dari sebuah tegangan impuls adalah perpotongan sumbu waktu dengan garis lurus yang menghubungkan titik 10% dan 90% dari tegangan puncak. Menurut rekomendasi *International Electrotechnical Commission* (IEC) titik

nol nominal dari sebuah gelombang impuls adalah perpotongan antara sumbu waktu dengan garis lurus yang menghubungkan titik 30% dan 90% dari puncak. Muka gelombang didefinisikan sebagai bagian dari gelombang yang mulai dari titik nol nominal sampai ke titik puncak, sedangkan sisanya disebut dengan ekor gelombang. Setengah puncak gelombang adalah titik pada muka gelombang dan ekor gelombang yang tegangannya adalah setengah puncak (titik 0,5). Menurut standart Jepang lamanya muka gelombang didefinisikan sebagai hasil bagi antara lamanya tegangan naik dari 10% sampai 90% dari puncak (Pritiandra Chowdhuri, 1996; Hutaeruk, MEE, 1989).

Waktu sampai setengah (*time to half value*) dari ekor gelombang didefinisikan sebagai waktu dari nol nominal sampai setengah puncak dari ekor. Ketajaman muka gelombang adalah kecepatan naiknya tegangan pada muka gelombang. Ketajaman muka gelombang rata-rata untuk mudahnya dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan puncak dan lamanya muka gelombang. Gelombang penuh adalah gelombang yang tidak terputus karena lompatan api atau tembusan (*puncture*), mempunyai waktu muka gelombang $T_1(\mu s)$ dan waktu sampai setengah puncak $T_2(\mu s)$. Gelombang ini dinyatakan dengan sandi $\pm(T_1 \times T_2) \mu s$. Bentuk gelombang standard menurut IEC adalah $\pm(1,5 \times 40) \mu s$ dan $\pm(1 \times 40) \mu s$. Gambar 1 memperlihatkan bentuk gelombang surja.



Gambar 1 Bentuk Gelombang Surja Hubung
 T_1 : muka Gelombang, T_2 : ekor gelombang

Pelepasan Beban

Salah satu operasi pensaklaran yang menyebabkan tegangan lebih adalah pelepasan beban. Untuk mengimbangi berkurangnya pembangkitan tenaga listrik yang disebabkan oleh adanya gangguan dari suatu sistem maka sebagian beban sistem harus dilepaskan supaya pembangkit yang masih bekerja tidak mengalami beban lebih dan frekuensi sistem tidak turun dibawah harga yang diijinkan.

Apabila berkurangnya daya pembangkit hanya berkisar 10% sampai 15% dari kapasitas pembangkitan yang ada maka dalam hal ini penurunan frekuensi akan terjadi secara perlahan sehingga tidak akan menyebabkan hal-hal yang serius pada sistem. Hal ini disebabkan karena governor pembangkit-pembangkit masih sempat bekerja dan daya cadangan panas yang ada atau spinning reserve (kira-kira 10% sampai 15%) dapat digunakan. Umumnya dalam hal ini turunnya frekuensi masih dapat ditahan dan dikembalikan ke keadaan normal karena bekerjanya governor, tanpa melakukan pelepasan beban.

Tetapi apabila terjadinya gangguan yang lebih besar lagi maka turunnya frekuensi akan makin cepat sehingga dapat mencapai harga yang relatif rendah hanya dalam waktu singkat. Governor dan daya cadangan panas yang ada tidak sempat bekerja sehingga tidak dapat membantu memperbaiki keadaan sistem.

Untuk menjaga sistem dari kegagalan atau kerusakan dikarenakan makin turunnya frekuensi maka sebagian beban harus dilepaskan. Setelah sebagian beban dilepaskan, beban-beban yang dipikul oleh pembangkit-pembangkit yang masih bekerja akan berkurang dan frekuensi akan kembali ke keadaan normal segera setelah terjadinya keseimbangan antara sisa

pembangkit dan sisa beban. Pelepasan beban harus dilakukan sesegera mungkin pada saat frekuensi sistem mulai menurun. Dengan pelepasan sebagian beban pembangkit-pembangkit yang masih bekerja dapat terhindar dari kerusakan dan juga pelayanan terhadap beban yang tinggal (tidak dilepas) masih dapat tetap dilaksanakan. Didalam perencanaan pelepasan beban dapat ditentukan terlebih dahulu beban-beban yang akan dilepaskan apabila terjadi penurunan frekuensi yang sangat cepat. Beban-beban yang akan dilepaskan dipilih beban-beban yang kurang penting dan beban-beban yang sangat peka dengan frekuensi. Beban-beban yang penting dan yang perlu dilayani secara kontinyu diharapkan dapat tetap dilayani meskipun ada sebagian pembangkit yang terganggu (T.S. Hutaeruk, 1998).

Tegangan lebih karena pelepasan beban berarti pelepasan karena adanya gangguan. Tegangan lebih ini juga termasuk tegangan lebih sementara (*temporary over voltage*). Kenaikan tegangan yang terjadi pada waktu pelepasan beban, yang mana besarnya kenaikan tegangannya tergantung dari besarnya kapasitas dan impedansi beban (Naidu, V. Kamaraju, 1995).

$$v = \frac{f}{f_0} \cdot E \left[\left(1 - \frac{f}{f_0} \right) \frac{x_s}{x_c} \right] \quad (2)$$

dengan: v = kenaikan tegangan pada ujung saluran

f = frekuensi pada saat tegangan maksimum

f_0 = frekuensi dasar 50 Hz

E = tegangan subtransien generator

X_s = reaktansi sumber

X_c = reaktansi kapasitif saluran

Gejala tegangan lebih transien pada saluran transmisi

Gejala surja hubung pada saluran transmisi dapat diselesaikan dengan membuat rangkaian ekuivalen satu fasa. Sehingga tiap

fasa diasumsikan dapat berdiri sendiri, hal tersebut berlaku jika pemutusan tenaga pada masing-masing fasa menutup secara serentak (*simultaneous*).

Untuk menentukan rangkaian 1 fasa yang ekuivalen dengan transmisi 3 fasa, beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu pemilihan dari parameter pada saluran transmisi. Diasumsikan matrik impedansi surja untuk saluran 3 fasa dihitung terlebih dahulu. Sehingga tegangan lebih dapat dihitung ketika saluran transmisi mendapat energi dari peristiwa menutupnya pemutus tenaga pada masing-masing fasa secara serentak. Jika pemutus tenaga menutup tak serentak maka metode rangkaian ekuivalen fasa tunggal tidak dapat diterapkan untuk menentukan tegangan lebih yang disebabkan surja hubung. Tegangan lebih pada jaringan transmisi dapat terjadi karena adanya peristiwa menutupnya pemutus tenaga pada masing-masing fasa, menutup tidak serentak (*nonsimultaneous*). Metode rangkaian fasa tunggal hanya dapat digunakan untuk pendekatan, dengan menganggap pemutus tenaga pada masing-masing fasa menutup secara serentak (Greenwood, John Wiley dan Sons, 1991).

Pada saluran transmisi terjadi tegangan lebih yang bertambah dengan adanya sifat yang saling berhubungan satu sama lain pada saluran 3 fasa, pada hakekatnya pemutus tenaga terdapat pada jaringan 3 fasa menutup secara serentak (*nonsimultaneous*). Nilai tegangan maksimum yang terdapat pada penerima bervariasi menurut waktu menutupnya pemutus tenaga pada masing-masing fasa.

Analisis transien dengan metode gelombang berjalan

Saluran transmisi panjang dinyatakan sebagai jaringan listrik dengan parameter – parameter terdistribusi sebagai berikut:

L = Induktansi, C = Kapasitansi, R = Resistansi, G = Konduktor bocor persatuan

panjang saluran. Bila pada saluran diberi energi listrik, gelombang tegangan dan arus akan merambat di sepanjang saluran. Gelombang tersebut bila merambat sejauh x , penurunan tegangan pada tahanan dan induktor sebesar (MS Navidu, V. Karamaju,1995):

$$dV = \frac{\delta}{\delta x} . dx = i . R . dx + L \frac{\delta}{\delta x} (i . \delta x) \\ = \left(R + L \frac{\delta}{\delta t} \right) \quad (3)$$

Besar arus yang mengalir pada konduktansi dan kapasitansi adalah:

$$di = \frac{\delta i}{\delta x} . dx = VG . dx + \frac{\delta}{\delta t} (VC . dx) \\ = \left(G + C \frac{\delta}{\delta t} \right) . V . dx$$

Persamaan (2) dan (3) bila dinyatakan dalam bentuk transformasi Laplace diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\frac{\delta V}{\delta x} = (Ri + Ls)i = Zi \quad (4)$$

$$\frac{\delta i}{\delta x} = (G + Cs)V = YV \quad (5)$$

dengan:

$$Z = (Ri + Ls) \quad Y = (G + Cs)$$

Dengan mengeliminasi persamaan (4) dan (5) kemudian dideferensialkan terhadap x , diperoleh:

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} = Z \frac{\delta i}{\delta x}$$

$$= YZV = \gamma^2 V$$

$$\frac{\delta^2 i}{\delta x^2} = Y \frac{\delta V}{\delta x}$$

$$YZi = \gamma^2 i \quad (6)$$

$$\gamma^2 = YZ = RG + (RC + LG)s + LCs^2$$

Solusi dari persamaan (6) dan (7) di atas adalah:

$$v = [\exp(x\gamma)]f_1(t) + [\exp(-x\gamma)]f_2(t)$$

$$i = -\sqrt{\frac{Y}{Z}} [\{\exp(x\gamma)\}f_1(t) - \{\exp(-x\gamma)\}f_2(t)]$$

dengan:

$f_1(t)$, $f_2(t)$ = Konstanta integrasi terhadap x sebagai fungsi t

$$\gamma = \sqrt{LC \left[\left(s + \frac{L}{R} \right) \left(s + \frac{G}{C} \right) \right]}^{1/2}$$

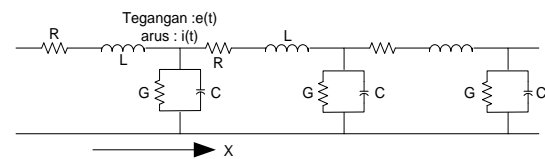
$$= \frac{1}{V} \sqrt{(s + \alpha + \beta)(s + \alpha - \beta)}$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \text{kecepatan rambat gelombang}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C} \right) = \text{konstanta redaman}$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\frac{R}{L} - \frac{G}{C} \right) = \text{konstanta panjang gelombang}$$

$$s = \frac{\delta}{\delta t} = \text{operator diferensial terhadap waktu}$$



Gambar 2 Konstanta Saluran Transmisi Terdistribusi Berlaku untuk Saluran Transmisi Panjang (MS Naidu, V.Kamaraju,1995)

Solusi eksak dari persamaan diatas tergantung pada parameter saluran (L , C , R dan G) dan kondisi awal dan akhir saluran. Gelombang tersebut akan direndam dan terdistorsi karena berpropagasi pada saluran dengan konduktansi dan resistansi berhingga.

Untuk saluran ideal tanpa rugi-rugi, $R = 0$ dan $G = \infty$, persamaan gelombang tegangan dan arus disederhanakan menjadi:

$$\frac{\delta^2 V}{\delta x^2} = LC \frac{\delta^2 V}{\delta t^2} \quad (7)$$

solusi dari persamaan diatas adalah:

$$v = f_1 \left(t + \frac{x}{v} \right) + f_2 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (8)$$

$$i = -\sqrt{\frac{C}{L}} f_1 \left(t + \frac{x}{v} \right) + \sqrt{\frac{C}{L}} f_2 \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (9)$$

dengan

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \text{kecepatan rambat gelombang} \quad (2.6)$$

(10)

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = \text{impedansi surja saluran} \quad (11)$$

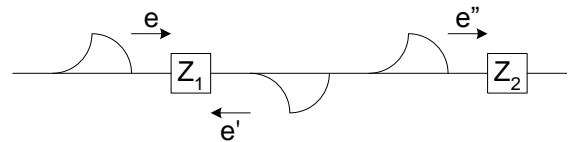
Solusi ini merepresentasikan dua buah gelombang berjalan yang bergerak dengan arah maju dan mundur (kebelakang). Kecepatan v adalah sama dengan kecepatan cahaya pada vakum.

Jika suatu tegangan $v(t)$ diterapkan pada salah satu ujung saluran transmisi tanpa rugi-rugi, unit kapasitansi C pertama dimuati pada tegangan $v(t)$. Kapasitansi ini kemudian meluahkan ke dalam unit kapasitansi berikutnya melalui impedansi L . Proses bermuatan-peluahan (charge-discharge) ini berlanjut hingga ujung saluran dan energi gelombang dialihkan dari bentuk elektrostatik (dalam kapasitansi) ke bentuk magnetik (dalam induktansi) ke bentuk magnetik (dalam induktansi). Jadi gelombang tegangan bergerak maju secara gradual ke ujung saluran dengan menimbulkan gelombang arus ekuivalen juga. Propagasi gelombang tegangan dan arus ini disebut gelombang berjalan (travelling wave) dan gelombang ini kelihatan seolah-olah tegangan dan arus berjalan sepanjang saluran dengan kecepatan yang diberikan oleh persamaan (13).

Pada saat gelombang yang berjalan pada suatu saluran transmisi mencapai titik transisi, seperti rangkaian terbuka, rangkaian hubung singkat, suatu sambungan dengan saluran lain atau kabel, belitan mesin, dan lain-lain, maka pada titik itu terjadi perubahan parameter saluran. Akibatnya sebagian dari gelombang berjalan bergerak kembali kebelakang, disebut gelombang pantul, dan sebagian lagi bergerak melewati bagian lain dari rangkaian. Pada titik transisi, tegangan atau arus dapat berharga nol sampai dua kali harga semula tergantung pada karakteristik terminalnya. Gelombang berjalan asal (*impinging wave*) disebut gelombang datang (*incident wave*), dan dua macam gelombang lain yang muncul pada titik transmisi disebut dengan gelombang pantul (*reflected wave*) dan

gelombang maju (*transmitted wave*). Gelombang-gelombang tersebut memenuhi hukum kirchoff dan persamaan differensial saluran gambar 2.

Apabila gelombang (e, i) menjumpai suatu impedansi diskontinyu, maka akan dibangkitkan gelombang berjalan dengan arah yang berlawanan (e', i'). Jika impedansi saluran adalah Z_1 , dan impedansi terminasi adalah Z_2 maka



Gambar 3 Gelombang Pantul dan Maju dari Suatu Gelombang Datang pada Titik Sambungan dari Dua Impedansi yang berbeda

$$e' = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \cdot e = \Gamma e$$

$$e' = -\frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \cdot i = -\Gamma e \quad (12)$$

Gelombang yang ditransmisikan melewati impedansi Z_2 adalah

$$e'' = \frac{2 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)} \cdot e = (1 + \Gamma) e \quad (13)$$

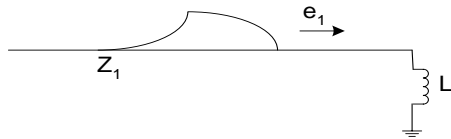
$$e'' = \frac{2 \cdot Z_1}{(Z_1 + Z_2)} \cdot i = (1 - \Gamma) i \quad (14)$$

Dengan mudah dapat dibuktikan bahwa :

$$\frac{e}{i} = Z_1, \frac{e''}{i''} = Z_2$$

Pada saluran tanpa rugi-rugi, gelombang pantul dan gelombang yang diteruskan adalah sama seperti gelombang asal. Dari persamaan-persamaan tegangan dan arus diatas dapat disimpulkan bahwa peningkatan tegangan dapat terjadi pada titik sambungan transmisi dan peralatan lainnya. Kecepatan propagasi gelombang berjalan mendekati cahaya dan oleh karena itu hanya dalam waktu beberapa mikrodetik dapat melintasi seluruh saluran (0,3 km/ μ dt) (Yanuar Zulardiansyah, 1998).

Pemakaian persamaan secara umum untuk kawat yang ditutup dengan impedansi beban (induktansi dan resistansi).



Gambar 4 Gelombang Berjalan yang Merambat Menuju Induktansi

$$e = EU(t)$$

$$Z_1 = Z \text{ dan } Z_2 = R + Ls$$

Diperoleh koefisien pantulan tegangan:

$$\Gamma = \left(\frac{Ls - Z}{Ls + Z_1} \right) = \left(\frac{s - \frac{Z}{R+L}}{s + \frac{Z}{R+L}} \right)$$

Besarnya gelombang pantul:

$$e' = \Gamma e$$

$$\begin{aligned} e'(s) &= \left(\frac{s - \frac{Z}{R+L}}{s + \frac{Z}{R+L}} \right) \frac{E}{s} \\ &= \left[1 - \frac{2 \frac{Z}{R+L}}{s + \frac{Z}{R+L}} \right] \frac{E}{s} \\ &= \left[-\frac{1}{s} + \frac{2}{s + \frac{Z}{R+L}} \right] E \end{aligned}$$

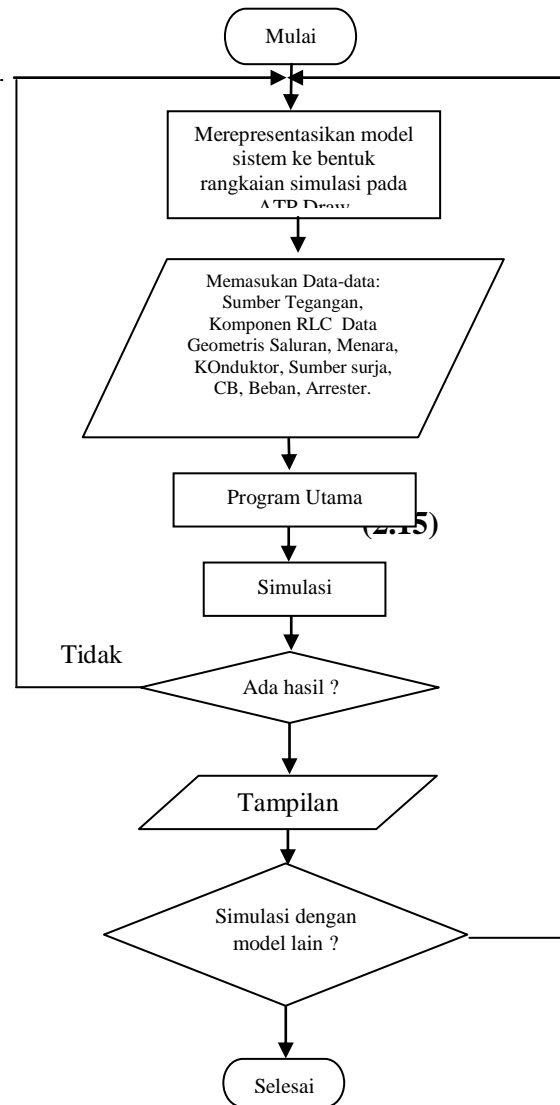
$$e'(t) = -\left[1 - 2 \exp\left(-\frac{Z}{R+L} t\right) \right] EU(t) \quad (16)$$

Besarnya tegangan gelombang yang diteruskan:

$$\begin{aligned} e''(s) &= (1 + \Gamma)e(s) \\ e''(s) &= \left[1 + \left(\frac{s - \frac{Z}{R+L}}{s + \frac{Z}{R+L}} \right) \right] \frac{E}{s} \end{aligned}$$

B. Metode Penelitian

EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain untuk menganalisis masalah transien pada sistem tenaga listrik. Oleh karena itu terdapat aturan-aturan khusus dalam pemasukan data untuk dianalisis dengan EMTP seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Simulasi EMTP

Jalannya penelitian dilakukan dengan melakukan perubahan beberapa asumsi, diantaranya melakukan perubahan Pola Operasi Pembangkit dengan melakukan pelepasan di SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2, asumsi lainnya adalah dengan melakukan pelepasan Unit Pembangkit di PLTA Koto Panjang serta mengamati tegangan transien di Koto Panjang tersebut. Data penelitian ini diambil berdasarkan data-data realisasi tanggal 18 Agustus 2005 yang data tersebut didapat di PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Sistem Sumbagteng (UPSBT).

Variabel Masukan dan Keluaran

Variabel-variabel yang dipakai sebagai masukan (input yang harus diberikan pada perangkat lunak) dalam penelitian ini adalah:

1. Data-data saluran, meliputi panjang saluran, data-data geometris konduktor phasa dan konduktor tanah, resistivitas tanah, jumlah konduktor berkas, dan tinggi konduktor di menara.
2. Menara Transmisi, meliputi tipe dan dimensi menara.
3. Sumber tegangan, meliputi besar sumber dan urutan fasanya.
4. Transformator, meliputi besar tegangan primer, sekunder dan tersier

Proses pensaklaran dilakukan di penghantar 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2. Penghantar tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Bahannya merupakan ACSR/GSW dengan penampang 330/40.
2. Dengan panjang rute 85,100 km dengan panjang sirkuit 170,200km, memiliki jumlah tower sebanyak 248 buah.
3. Merupakan saluran utama yang menghubungkan Propinsi Sumbar dengan Pekan Baru.

Sedangkan variabel-variabel yang ingin didapatkan sebagai keluaran dengan bantuan EMTP dalam penelitian ini adalah:

1. Besarnya tegangan lebih transien (tegangan sesaat setelah pensaklaran / Generator dilepaskan).
2. Besarnya tegangan sistem sesaat sebelum pensaklaran / Generator dilepaskan sehingga dapat ditentukan batas pembebanan maksimum yang masih diperbolehkan.

Diagram Simulasi

Simulasi dilakukan pada saluran SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang dengan memvariasi pola pembebanan Pembangkit, serta simulasi dari pelepasan PLTA Koto Panjang. Single line sistem Sumatera Bagian Tengah dan Single Line pada EMTP dapat dilihat pada gambar

4.37. Simulasi dilakukan dengan mengambil realisasi pembebanan pada tanggal 28 Juni 2007 yang data tersebut didapat dari PLN Unit Pengatur Beban Sumatera Bagian Tengah (UPBSBT). Pelepasan penghantar 150kV Payakumbuh – Koto Panjang dan Pembangkit PLTA Koto Panjang dilakukan dengan melepas PMT (Pemutus Tenaga) pada waktu 0,03dt, kemudian diambil data tegangan sebelum dan sesaat sesudah pelepasan PMT tersebut. Data tegangan diambil di GI Payakumbuh dan GI Koto Panjang, yang merupakan gardu induk terdekat dengan terjadinya simulasi tersebut.

C. Hasil Penelitian

Koto Panjang dengan EMTP

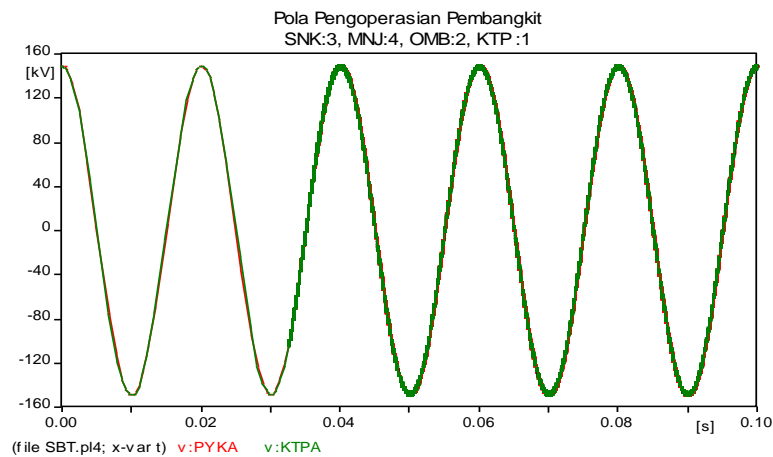
Pada simulasi pensaklaran tidak terjadi tegangan transien yang membahayakan pada penghantar 150kV Payakumbuh – Koto Panjang dengan berbagai macam pola pembebanan Pembangkit, kecuali saat PLTA Koto Panjang tidak operasi. Pada saat pensaklaran dengan PLTA Koto Panjang tidak operasi tegangan akan mengalami kenaikan meskipun tidak signifikan tetapi kemudian secara berangsur-angsur seiring pertambahan waktu tegangan di Pulau Pekan Baru akan mengalami penurunan, dikarenakan tidak ada lagi Pembangkit di Pulau Pekan Baru yang operasi. Saat pelepasan Unit Pembangkit PLTA Koto Panjang baik hanya satu Unit maupun tiga unit sekaligus, tegangan transien di GI Koto Panjang & GI Payakumbuh masih berada dalam batas yang diijinkan, dipilihnya GI-GI tersebut karena merupakan GI yang berdekatan dengan pusat gangguan (PLTA Koto Panjang). Berdasarkan hasil analisa diatas, tegangan transien yang terjadi pada simulasi diatas tidak membahayakan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik.

Tabel. 1 Tabel Hasil Simulasi EMTP dengan berbagai kondisi

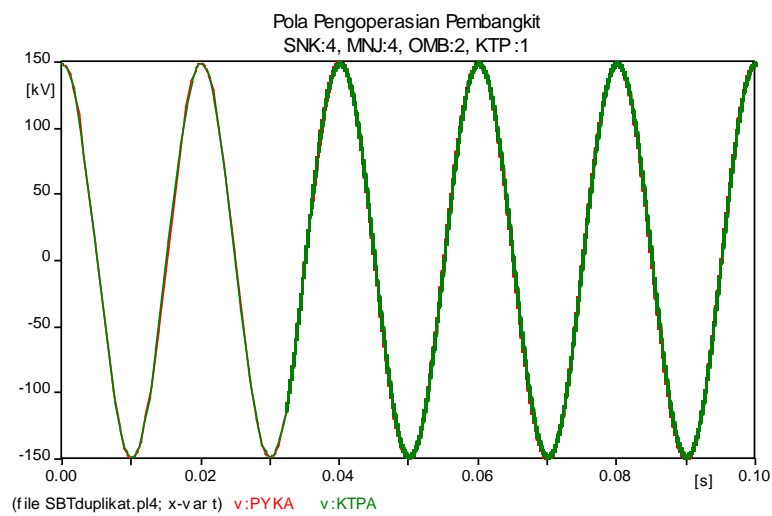
DATA - DATA HASIL SIMULASI DENGAN EMTP

SNK 4, MNJ 4, OMB 2			SNK 3, MNJ 4, OMB 2			SNK 2, MNJ 4, OMB 2			SNK 4, MNJ 4, OMB 1		
3# KTPJG			3# KTPJG			3# KTPJG			3# KTPJG		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,00	149,55	PYKBH	149,25	149,81	PYKBH	149,49	149,65	PYKBH	148,64	149,7
KTPJG	148,98	151,03	KTPJG	149,23	149,97	KTPJG	149,47	149,62	KTPJG	148,62	150,6
2# KTPJG			2# KTPJG			2# KTPJG			2# KTPJG		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,00	149,44	PYKBH	149,23	149,92	PYKBH	149,47	149,89	PYKBH	148,64	149,9
KTPJG	148,98	150,58	KTPJG	149,18	150,61	KTPJG	149,42	150,62	KTPJG	148,59	152,2
1# KTPJG			1# KTPJG			1# KTPJG			1# KTPJG		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,00	149,37	PYKBH	149,22	149,63	PYKBH	149,44	149,88	PYKBH	148,65	149,5
KTPJG	148,98	149,43	KTPJG	149,15	150,55	KTPJG	149,37	149,24	KTPJG	148,57	151,3
KTPJG TDK OPERASI			KTPJG TDK OPERASI			KTPJG TDK OPERASI			KTPJG TDK OPERASI		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,00	150,34	PYKBH	149,21	150,4	PYKBH	149,42	150,16	PYKBH	148,67	149,7
KTPJG	148,98	145,92	KTPJG	149,12	144,88	KTPJG	149,33	142,38	KTPJG	148,57	143,1
SNK 4, MNJ 3, OMB 2			SNK 4, MNJ 2, OMB 2			SNK 4, MNJ 1, OMB 2			SNK 4, MNJ 4, OMB 2		
3# KTPJG			3# KTPJG			3# KTPJG			KTPJG trip 1#		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,21	149,7	PYKBH	149,39	149,61	PYKBH	149,54	149,65	PYKBH	149	149,0
KTPJG	149,19	150,36	KTPJG	149,38	149,66	KTPJG	149,53	149,51	KTPJG	148,98	149,1
2# KTPJG			2# KTPJG			2# KTPJG			KTPJG trip 2#		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,19	149,9	PYKBH	149,37	149,93	PYKBH	149,5	150,14	PYKBH	149	149,0
KTPJG	149,14	150,63	KTPJG	149,32	151,02	KTPJG	149,46	150,47	KTPJG	148,98	149,3
1# KTPJG			1# KTPJG			1# KTPJG			KTPJG trip 3#		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,18	149,88	PYKBH	149,34	150,79	PYKBH	149,46	150,46	PYKBH	149	149,2
KTPJG	149,1	150,62	KTPJG	149,27	152,72	KTPJG	149,36	150,71	KTPJG	148,98	149,8
KTPJG TDK OPERASI			KTPJG TDK OPERASI			KTPJG TDK OPERASI			KTPJG TDK OPERASI		
	Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt		Sbelum	0.03 dt
PYKBH	149,17	150,26	PYKBH	149,32	150,44	PYKBH	149,43	150,43	PYKBH	149	149,8
KTPJG	149,07	143,98	KTPJG	149,23	145,86	KTPJG	149,33	143,69	KTPJG	148,98	149,7

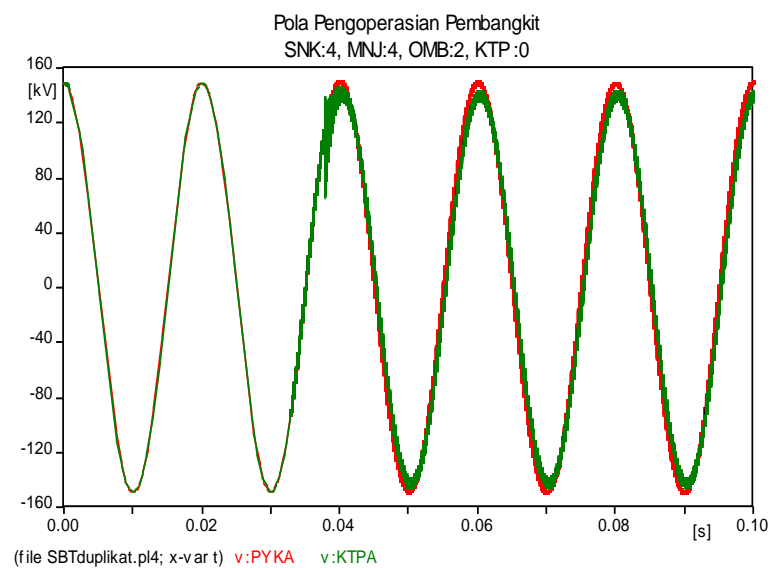
* data pembebanan diambil dari Realisasi tgl 28 Juni 2007 (PLNUPBSBT)



Gambar 6 Grafik Hasil Simulasi EMTP (SNK 4, MNJ 4, OMB 2, KTP 2)



Gambar 7 Grafik Hasil Simulasi EMTP (SNK 4, MNJ 4, OMB 2, KTP 1)



Gambar 8 Grafik Hasil Simulasi EMTP (SNK 4, MNJ4, OMB 2, KTP 1)

D. Pembahasan

Pada Gambar.6 dengan Pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:4, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:3, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV). Tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 149,55kV sedangkan di Koto Panjang 151,03kV.

Pada Gambar.7 dengan Pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:4, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:2, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV). Tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 149,44kV sedangkan di Koto Panjang 150,58kV.

Pada Gambar.8 dengan Pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:4, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:1, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV). Tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 149,37kV sedangkan di Koto Panjang 149,43kV.

Pada Gambar.9 dengan Pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:4, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:0, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan

pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi sudah melebihi batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV). Tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 150,34kV sedangkan di Koto Panjang 145,92kV. Pola Operasi Unit Pembangkit seperti ini tidak disarankan.

Pada Gambar.10 dengan Pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:3, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:3, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV). Tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 149,81kV sedangkan di Koto Panjang 149,97kV.

Pada Gambar.11 dengan Pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:3, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:2, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV). Tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 149,92kV sedangkan di Koto Panjang 150,61kV.

Hasil dari percobaan EMTP ini adalah tegangan Efektif tiga fasa, hal ini dilakukan agar memudahkan kita dalam pembacaan hasil pada EMTP. Jika hasil EMTP dalam tegangan puncak satu fasa maka kita harus mengkonversi lagi dalam tegangan efektif tiga fasa (dikali dengan $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$). Dengan alasan tersebut maka pada EMTP ini hasil yang tertera adalah hasil

tegangan efektif tiga fasa, seperti yang tertera pada alat ukur.

E. Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada prinsipnya, operasi pensaklaran yang terjadi pada penghantar 150kV Payakumbuh – Koto panjang dan Pembangkit PLTA Koto Panjang akan menimbulkan tegangan lebih berupa tegangan transien. Tegangan lebih tersebut maksimum terdapat pada pola Operasi Pembangkit PLTA Singkarak:3, PLTA Maninjau:4, PLTA Koto Panjang:3, PLTU Ombilin:2, kemudian diikuti dengan pelepasan SUTT 150kV Payakumbuh – Koto Panjang 1 & 2 secara bersamaan pada waktu 0,03dt dan serempak untuk ketiga fasanya, didapatkan hasil bahwa tegangan lebih transien yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan (135 s/d 157,5 kV) yakni, tegangan transien di Payakumbuh sesaat setelah pelepasan 149,81kV sedangkan di Koto Panjang 149,97kV.
2. Distribusi tegangan yang terjadi di setiap titik pengukuran akan lebih besar pada titik yang lebih dekat dengan pelepasan beban atau merupakan fungsi jarak terhadap beban. Oleh sebab itu apabila ingin mengetahui sampai sejauh mana tegangan lebih tersebut masih dalam batas-batas yang masih diijinkan, pengukuran di titik terdekat dengan terjadinya pelepasan beban sudah mewakili pengujian tersebut.
3. Tegangan transien maksimum terjadi pada frekuensi 152,72Hz, sementara dalam berbagai macam variasi pelepasan 1 sampai 3 unit PLTA Koto Panjang juga didapat hasil bahwa lonjakan tegangan transien yang terjadi

masih dalam tahap yang diijinkan dan tidak membahayakan peralatan.

Saran

Penentuan pola pengoperasian pembebanan Pembangkit pada suatu sistem sangat diperlukan untuk menjaga sistem dari kerusakan dan kegagalan, terutama pada saat terjadinya gangguan penghantar.

Daftar Pustaka

- [1]. Dommel, H.W (Agustus 1996). *Electromagnetic Transient Program*. Vancouver, Kanada.
- [2]. EMTP Development Coordination Group (1998). *The Electromagnetic Transients Program (Version 3,0; Rule book 1 Volume 1,2,3)*, EPRI Report.
- [3]. EKuffel, W.S, Zangl,1984."High Voltage Engineering", Peragamon Press Oxford
- [4]. Hutaeruk (1991). *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [5]. Kadir Abdul (1998). *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia
- [6]. Lorenzo T, (2000). *Trend Isulation Coordination Toward, International Symposium On Modern Insulator Technologies*
- [7]. Marsudi Djiteng (1990). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- [8]. Naidu, N.S, Karamaju (1995). *High Voltage Engineering*. Tata Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited.
- [9]. Tobing Bonggas L. (2003). *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: Penerbit Gramedia Pustaka Utama.
- [10]. Tim SOP PLN-UPBSBT (Agustus 2003). *Standing Operation Procedure Sistem Interkoneksi Sumbar Riau. Padang Pariaman – Sumbar*.

- [11]. William D. (1994). Power Sistem Analysis. Singapore: International Edition.
- [12]. Warmi Y. (2000). Analisis Pengaruh Pelepasan Beban Terhadap Tegangan Lebih Transien Dengan Menggunakan Electromagnetic Progam. Tugas Akhir S2 UGM.
- [13]. Yamada T, et al (2001). Experient Evaluation of UHV Tower Model for Lighning Surge Analisis. IEEE Transaction on PWRD vol 10 No.1